

PAT-NO: JP02000223410A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000223410 A

TITLE: POSITIONER AND ALIGNER, AND DEVICE  
MANUFACTURE, AND POSITIONING METHOD

PUBN-DATE: August 11, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ASANO, TOSHIYA	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
CANON INC	N/A

APPL-NO: JP11026334

APPL-DATE: February 3, 1999

INT-CL (IPC): H01L021/027, G01G011/00 , G03F007/23

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable high-speed and highly accurate positioning with low heat generation, by positioning a main stage using an actuator when traveling the main stage at fixed speed or stopping it.

SOLUTION: When accelerating or decelerating a main stage, the power is transmitted from a sub stage to a main stage by driving the sub stage, and when traveling the main stage at fixed velocity or stopping it, the positioning of the main stage is performed, using an actuator. A positioning stage 33 is

accelerated or decelerated by the driving force transmitted from an acceleration and deceleration stage 32 through a spring element 37 without performing the control of the actuator by a positioning stage control system, when the degree of acceleration or deceleration is large. Then, the control of the positioning stage control system 42 is started when the acceleration and deceleration are roughly finished, and the driving force transmitted from the acceleration and deceleration stage 32 becomes small, the final positioning of the positioning stage 33 is performed.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-223410

(P2000-223410A)

(43)公開日 平成12年8月11日(2000.8.11)

(51)IntCl.

識別記号

F I

マーク(参考)

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 6 B 5 F 0 4 6

G 0 1 G 11/00

G 0 1 G 11/00

G

G 0 3 F 7/23

G 0 3 F 7/23

H

H 0 1 L 21/30

5 0 3 A

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 14 頁)

(21)出願番号

特願平11-26334

(22)出願日

平成11年2月3日(1999.2.3)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 浅野 俊哉

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ

ン株式会社内

(74)代理人 100090538

弁理士 西山 直三 (外2名)

Fターム(参考) 5F046 BA03 CC01 CC02 CC03 CC05

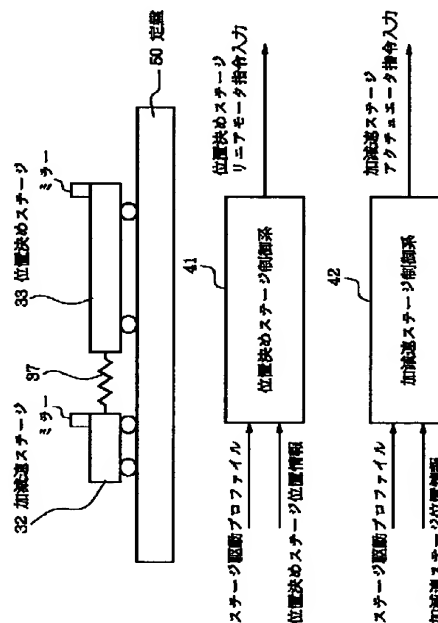
CC06 CC16 CC18 DA07 DA11

(54)【発明の名称】 位置決め装置、露光装置およびデバイス製造方法ならびに位置決め方法

(57)【要約】

【課題】 低発熱で高速高精度な位置決め性能を有する位置決め装置を提供する。

【解決手段】 本発明の位置決め装置は、基準面を有する定盤と、定盤に対して移動可能なサブステージと、サブステージを定盤に対して移動させる移動機構と、サブステージと共に定盤に対して移動可能なメインステージと、メインステージとサブステージとの間で力を伝達する部材と、メインステージの位置決めを行うためのアクチュエータとを備え、メインステージを加減速させるときは、移動機構を用いて該サブステージを駆動して、軸受を介してサブステージからメインステージに力を伝達し、メインステージを定速走行または停止させるときは、アクチュエータを用いてメインステージの位置決めを行うことを特徴とする。また、アクチュエータの制御を開始するときの偏差補正信号の大きさと傾きは、制御系が制御を開始したときの位置偏差信号の大きさと傾きとはほぼ等しい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基準面を有する定盤と、  
該定盤に対して移動可能なサブステージと、  
該サブステージを該定盤に対して移動させる移動機構  
と、  
該サブステージと共に該定盤に対して移動可能なメイン  
ステージと、  
該メインステージと該サブステージとの間で力を伝達す  
る部材と、  
該メインステージの位置決めを行うためのアクチュエー  
タとを備え、  
該メインステージを加減速させるときは、該移動機構を  
用いて該サブステージを駆動して、該部材を介して該サ  
ブステージから該メインステージに力を伝達し、  
該メインステージを定速走行または停止させるときは、  
該アクチュエータを用いてメインステージの位置決めを  
行うことを特徴とする位置決め装置。

【請求項2】 前記アクチュエータは、前記加減速の開  
始時刻からの時間に応じて制御されることを特徴とする  
請求項1記載の位置決め装置。

【請求項3】 前記アクチュエータは、前記サブステ  
ージの加減速の大きさに応じて制御されることを特徴と  
する請求項1記載の位置決め装置。

【請求項4】 前記アクチュエータは、前記メインステ  
ージの速度に応じて制御されることを特徴とする請求項  
1記載の位置決め装置。

【請求項5】 前記アクチュエータは、前記メインステ  
ージの位置偏差の大きさに応じて制御されることを特徴  
とする請求項1記載の位置決め装置。

【請求項6】 前記アクチュエータを制御する制御系  
は、前記メインステージの目標位置に対する位置偏差信  
号を偏差補正信号を用いて補正し、補正された位置偏差  
信号に基づいてアクチュエータを制御することを特徴と  
する請求項1～5いずれか記載の位置決め装置。

【請求項7】 前記偏差補正信号を生成するための偏差  
補正信号発生器を有することを特徴とする請求項6記載  
の位置決め装置。

【請求項8】 前記アクチュエータの制御を開始する  
ときの前記偏差補正信号の大きさは、前記アクチュエータ  
を制御する制御系が制御を開始したときにおける前記位  
置偏差信号の大きさとほぼ等しいことを特徴とする請求  
項6または7記載の位置決め装置。

【請求項9】 前記アクチュエータの制御を開始する  
ときの前記偏差補正信号の傾きは、前記アクチュエータ  
を制御する制御系が制御を開始したときにおける前記位  
置偏差信号の傾きとほぼ等しいことを特徴とする請求項8  
記載の位置決め装置。

【請求項10】 前記アクチュエータは、非接触で駆動  
力を発生する非接触アクチュエータであることを特徴と  
する請求項1～9いずれか記載の位置決め装置。

【請求項11】 前記アクチュエータは、リニアモータ  
であることを特徴とする請求項10記載の位置決め装  
置。

【請求項12】 前記リニアモータの可動子は前記メイ  
ンステージに設けられ、前記リニアモータの固定子は前  
記定盤に設けられることを特徴とする請求項11記載の  
位置決め装置。

【請求項13】 前記リニアモータの可動子は前記メイ  
ンステージに設けられ、前記リニアモータの固定子は前  
記サブステージに設けられることを特徴とする請求項1  
1記載の位置決め装置。

【請求項14】 前記部材は、前記サブステージが移動  
する方向に対して、前記メインステージと前記サブステ  
ージとの間で力を伝達することを特徴とする請求項1～  
13記載の位置決め装置。

【請求項15】 前記部材は、バネ要素であることを特  
徴とする請求項14記載の位置決め装置。

【請求項16】 前記部材は、該メインステージと該サ  
ブステージとを非接触に保つ非接触軸受であることを特  
徴とする請求項1～15いずれか記載の位置決め装置。

【請求項17】 前記非接触軸受は、静圧軸受または磁  
気を利用した軸受を有することを特徴とする請求項16  
記載の位置決め装置。

【請求項18】 前記メインステージは、前記基準面上  
に支持されていることを特徴とする請求項1～17いづ  
れか記載の位置決め装置。

【請求項19】 前記メインステージは、前記サブステ  
ージ上に載置されていることを特徴とする請求項1～1  
7いずれか記載の位置決め装置。

【請求項20】 前記サブステージは、基準面上で二次  
元方向に移動可能な二次元ステージであることを特徴と  
する請求項19記載の位置決め装置。

【請求項21】 前記部材は、ラジアル軸受を有するこ  
とを特徴とする請求項20記載の位置決め装置。

【請求項22】 前記メインステージは、前記サブステ  
ージに対して基準面と平行な方向に移動可能であることを  
特徴とする請求項20または21記載の位置決め装  
置。

【請求項23】 前記サブステージに対して前記メイ  
ンステージを前記基準面と垂直な方向に駆動する駆動機構  
を有することを特徴とする請求項19～22いずれか記  
載の位置決め装置。

【請求項24】 前記メインステージは、前記サブステ  
ージに対して6軸方向に移動可能であることを特徴とす  
る請求項23記載の位置決め装置。

【請求項25】 前記サブステージに対して前記メイ  
ンステージを鉛直方向に支持する支持機構は、与圧室また  
は磁石の反発力を利用したものであることを特徴とする  
請求項19～24いずれか記載の位置決め装置。

【請求項26】 請求項1～25いずれか記載の位置決

め装置を有することを特徴とする露光装置。

【請求項27】 前記位置決め装置をウエハステージとして備えたことを特徴とする請求項26記載の露光装置。

【請求項28】 請求項26または請求項27記載の露光装置を用意する工程と、該露光装置によりレチクルに形成されたパターンをウエハに転写する工程とを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項29】 ウエハに感光剤を塗布する工程と、感光したウエハを現像する工程とを更に有することを特徴とする請求項28記載のデバイス製造方法。

【請求項30】 サブステージを加速する工程と、サブステージとメインステージとの間に設けられた非接触軸受を介して該サブステージから該メインステージに駆動力を伝達し、該メインステージを加速する工程と、該サブステージと該メインステージとの間に設けられたアクチュエータにより該メインステージの位置決めを行う工程とを有し、該アクチュエータにより該メインステージの位置決めを行う工程では、目標位置に対する位置偏差信号を補正する工程と、該補正された位置偏差信号に基づいて該アクチュエータの制御を行う工程とを有することを特徴とする位置決め方法。

【請求項31】 前記アクチュエータの制御を開始するときの位置偏差信号を補正する工程では、位置偏差信号と等しい大きさの偏差補正信号を生成し、該位置偏差信号と該偏差補正信号との差分に基づいてアクチュエータの制御を行うことを特徴とする請求項30記載の位置決め方法。

【請求項32】 前記アクチュエータの制御を開始するときの位置偏差信号を補正する工程では、位置偏差信号と等しい傾きの偏差補正信号を生成し、該位置偏差信号と該偏差補正信号との差分に基づいてアクチュエータの制御を行うことを特徴とする請求項31記載の位置決め方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、位置決め装置、特に半導体ウエハまたは液晶表示パネル等の基板にパターンを形成するための露光装置の位置決め装置に関し、さらには被露光体である基板の姿勢を適確に保持して高精度な露光を可能にする露光装置やデバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えばマスクやレチクル上に描かれた半導体装置製造用のパターンをウエハ上に投影するステッパ等の露光装置では、レチクルとウエハの位置合わせを行う機能が備えられており、それにより位置合わせを行った後で露光を行っている。そして、このような位置合わせは、一般的には露光すべきパターンが描かれたレチクル等の原板とウエハ等の被露光体（基板）との

ずれを計測し、その結果に基づいて被露光体をレーザー測長器の計測値に基づいた制御によりステップアンドリビート移動したり、または原板と被露光体とを移動したりすることにより行われている。

【0003】所謂ステップアンドリビートタイプやステップアンドスキャンタイプのステッパは、その解像度及び重ね合せ精度の面から被露光体（ウエハ）を保持しながら移動する所謂ウエハステージを極めて高精度に位置決めすることが要求されている。加えて近年では生産性の向上のために位置決めの高速化が望まれている。

【0004】図20は、従来用いられている直進一軸の位置決めステージ構成のモデルを示したものである。

【0005】ステージ110は、定盤111上に直進方向に往復運動自在に案内されている。ステージ上には不図示のレチクル、ウエハその他ワークが載置される。ステージには磁石とヨークで構成される不図示のリニアモータ固定子が非接触で対面し、リニアモータ固定子は定盤に支持されている。ステージには反射ミラー112が設けられ、不図示のレーザ干渉計によりステージの位置を計測する。113はステージ制御系であり、ステージ駆動プロファイルと計測されたステージ位置に基づいてリニアモータへ制御入力指令を送る。実際のステージの動作は以下のようになる。所定のレチクルやウエハその他ワークが搭載された静止状態のステージに対し、ステージ位置に応じて所定のリニアモータコイルに所定の方向の電流を所定時間流してステージを加速し、ステージが所望の速度および位置に達した後はステージを等速で走査するように制御し、ステージが走査移動している間に所定の露光や検査などを行う。これらの所定動作の終了後、リニアモータコイルに所定の電流を流してステージを減速し、停止させる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】これらのステージ動作の高速性を達成させるには、ステージの加速および減速を大きくする必要がある。しかし、上記のステージの構成では、加速から位置決めまでを同じリニアモータで駆動するため、ステージの加速度を大きくするとリニアモータの発熱が大きくなる。そして、ステージとリニアモータとの距離が近接しているため、リニアモータの発熱によりステージやワークが熱膨張で変形し、位置決め精度や露光、加工または検査精度が低下してしまう。また、リニアモータの発熱は、レーザ干渉計の光路の空気密度を乱し、ステージ位置の計測精度の悪化の原因ともなる。

【0007】本発明は、低発熱で高速高精度な位置決め性能を有する位置決め装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明の位置決め装置は、基準面を有する定盤と、

該定盤に対して移動可能なサブステージと、該サブステージを該定盤に対して移動させる移動機構と、該サブステージと共に該定盤に対して移動可能なメインステージと、該メインステージと該サブステージとの間で力を伝達する部材と、該メインステージの位置決めを行うためのアクチュエータとを備え、該メインステージを加減速させるときは、該移動機構を用いて該サブステージを駆動して、該部材を介して該サブステージから該メインステージに力を伝達し、該メインステージを定速走行または停止させるときは、該アクチュエータを用いてメインステージの位置決めを行うことを特徴とする。

【0009】また、前記アクチュエータは、前記加減速の開始時刻からの時間に応じて制御されるべく、前記サブステージの加減速の大きさに応じて制御されるべく、前記アクチュエータは、前記メインステージの速度に応じて制御されるべく、前記メインステージの位置偏差の大きさに応じて制御されるべく。

【0010】また、前記アクチュエータを制御する制御系は、前記メインステージの目標位置に対する位置偏差信号を偏差補正信号を用いて補正し、補正された位置偏差信号に基づいてアクチュエータを制御することが望ましい。また、前記偏差補正信号を生成するための偏差補正信号発生器を有することが好ましい。

【0011】また、前記アクチュエータの制御を開始するときの前記偏差補正信号の大きさは、前記アクチュエータを制御する制御系が制御を開始したときにおける前記位置偏差信号の大きさとほぼ等しいことが望ましく、前記アクチュエータの制御を開始するときの前記偏差補正信号の傾きは、前記アクチュエータを制御する制御系が制御を開始したときにおける前記位置偏差信号の傾きとほぼ等しいことが好ましい。

【0012】また、前記アクチュエータは、非接触で駆動力を発生する非接触アクチュエータであることが望ましく、リニアモータであることが好ましい。

【0013】また、前記リニアモータの可動子は前記メインステージに設けられ、前記リニアモータの固定子は前記定盤に設けられることが望ましい。また、前記リニアモータの可動子は前記メインステージに設けられ、前記リニアモータの固定子は前記サブステージに設けられても良い。

【0014】また、前記部材は、前記サブステージが移動する方向に対して、前記メインステージと前記サブステージとの間で力を伝達することが望ましく、前記部材は、バネ要素であることが好ましい。

【0015】また、前記部材は、該メインステージと該サブステージとを非接触に保つ非接触軸受であることが望ましく、静圧軸受または磁気を利用した軸受を有することが好ましい。

【0016】また、前記メインステージは、前記基準面上に支持されているが望ましい。

【0017】また、前記メインステージは、前記サブステージ上に載置されていることが望ましい。

【0018】また、前記サブステージは、基準面上で二次元方向に移動可能な二次元ステージであることが望ましい。また、前記部材は、ラジアル軸受であることが好ましい。

【0019】また、前記メインステージは、前記サブステージに対して基準面と平行な方向に移動可能であることが望ましい。

【0020】また、前記サブステージに対して前記メインステージを前記基準面と垂直な方向に駆動する駆動機構を有することが望ましい。

【0021】また、前記メインステージは、前記サブステージに対して6軸方向に移動可能であることが望ましい。

【0022】また、前記サブステージに対して前記メインステージを鉛直方向に支持する支持機構は、与圧室または磁石の反発力を利用したものであることが望ましい。

【0023】また、上記の目的を達成するための本発明の位置決め方法は、サブステージを加速する工程と、サブステージとメインステージとの間に設けられた非接触軸受を介して該サブステージから該メインステージに駆動力を伝達し、該メインステージを加速する工程と、該サブステージと該メインステージとの間に設けられたアクチュエータにより該メインステージの位置決めを行う工程とを有し、該アクチュエータにより該メインステージの位置決めを行う工程では、目標位置に対する位置偏差信号を補正する工程と、該補正された位置偏差信号に基づいて該アクチュエータの制御を行う工程とを有することを特徴とする。

【0024】また、前記アクチュエータの制御を開始するときの位置偏差信号を補正する工程では、位置偏差信号と等しい大きさの偏差補正信号を生成し、該位置偏差信号と該偏差補正信号との差分に基づいてアクチュエータの制御を行うことが望ましい。

【0025】また、前記アクチュエータの制御を開始するときの位置偏差信号を補正する工程では、位置偏差信号と等しい傾きの偏差補正信号を生成し、該位置偏差信号と該偏差補正信号との差分に基づいてアクチュエータの制御を行うことが望ましい。

【0026】

【発明の実施の形態】＜実施形態1＞図1は、本発明のステージ装置のモデル図である。

【0027】同図において、位置決めステージ33上には、不図示のレチクルやウエハ等の位置決め目的物が載置される。位置決めステージ33は、定盤50の基準面と平行な方向に往復運動自在に案内されている。32は加減速ステージであり、位置決めステージ33と同様に定盤50の基準面上で案内されている。加減速ステージ

32には不図示のアクチュエータが設けられている。上述した通り、位置決めステージ33は定盤50の基準面上に載置されているが、本発明のステージ装置はこれに限るものではなく、加減速ステージ32上に位置決めステージ33が搭載された構成をしていてもかまわない。

【0028】加減速ステージ32を駆動するアクチュエータは、リニアモータ等の直動型でも良いし、回転モータと送りネジを組合せたものでも良く、ここでは特に限定されない。

【0029】位置決めステージ33には不図示のアクチュエータとして、リニアモータが設けられている。磁石とヨークから構成される不図示のリニアモータ可動子は、位置決めステージ側に設けられている。また、コイルを有し、可動子に対向する不図示のリニアモータ固定子は、加減速ステージ32に取り付けても良いし、定盤50に取り付けても良い。リニアモータのストロークを考慮すると、位置決めステージ33を駆動するためのリニアモータ固定子を設ければ、固定子が小さくて済む。

【0030】加減速ステージ32と位置決めステージ33の間には両ステージを連結するバネ要素37が設けられている。このバネ要素37はコイルバネ等の機械的なバネであっても良いが、非接触なものが望ましく、空気軸受のごとく空気膜を利用したものや、磁力による吸引力や反発力を利用したものが良い。また、このバネ要素37は、受動的なものでも良いし、低発熱のアクチュエータを用いた能動的なものでも良い。

【0031】位置決めステージ33には反射ミラーが設けられ、不図示のレーザ干渉系により位置決めステージ33の移動方向の位置を計測する。加減速ステージ3にも同様に反射ミラーが設けられ、加減速ステージ32の移動方向の位置を計測する。加減速ステージ32の位置計測は、加減速ステージ32の位置を基準位置から直接的に測定しても良いし、加減速ステージ32と位置決めステージ33との相対的位置の測定値と、位置決めステージの測定値とを用いて演算しても良い。

【0032】位置決めステージ33および加減速ステージ32には、それぞれ位置決めステージ制御系41と加減速ステージ制御系42が構成されており、所定のステージ駆動プロファイルとそれぞれのステージ測定位置に基づいて、それぞれのアクチュエータに指令が送られる。

【0033】加減速ステージ32の役割は、加減速ステージ32のアクチュエータに大きな駆動力を与えることにより加減速ステージ32を加減速させ、バネ要素37を介して位置決めステージを駆動することである。加減速ステージ制御系42は、所定のステージ駆動プロファイルと加減速ステージの測定位置とに基づいて、加減速ステージを制御する。

【0034】位置決めステージ33は、加速度または減速度が大きいときは、位置決めステージ制御系によるア

クチュエータの制御を行わず、バネ要素37を介して加減速ステージ32から伝わる駆動力によって加減速駆動される。そして、加減速がほぼ終了し、加減速ステージ32から伝わる駆動力が小さくなったときに位置決めステージ制御系42が制御を開始し、位置決めステージ33の最終的な位置決めが行われる。

【0035】位置決めステージ制御系7が位置決めを行っている際の加減速ステージ32の振動などによる加減速ステージ自身の位置決め誤差は、バネ要素37を介して位置決めステージ33へ外乱として伝達される。したがって、位置決め時のバネ要素37の剛性はなるべく小さい方が望ましく、理想的にはバネ要素37の剛性がゼロであることが良い。一方、加減速中は、位置決めステージはバネ要素を介して駆動されるので、バネ要素37の剛性は大きい方が好ましい。

【0036】そのため、本発明のバネ要素は、図2に示すようなたわみ量に対する剛性変化特性を持つものとする。(グラフ中の数値は、基準化されている。以下同じ。)

【0037】図2に示すバネ要素は、たわみ量が大きいときは剛性が高く、たわみ量が小さいときは剛性がゼロに近くなるような性質を有している。

【0038】上記のような構成のステージ装置において、図3のような駆動を行うこととする。本駆動動作においては、時刻100以降の等速状態中に所定の作業を行うことを目的としている。

【0039】加減速ステージ制御系は、同図の目標加速度プロファイルおよび加減速ステージの位置情報をもとに制御入力を生成し、加減速ステージを駆動する。時刻100までの加速区間では位置決めステージ制御系は機能していないので、バネ要素を介して加減速ステージからの駆動力のみをうけて位置決めステージは加速される。時刻100を過ぎた時点で位置決めステージ制御系が機能し始める。位置決めステージ制御系が制御を開始するタイミングとしては、1)ステージ速度の目標速度に対する割合がある所定範囲に入ったとき、2)ステージの位置の目標位置に対する割合がある所定範囲に入ったとき、3)加減速終了後のある所定時間が経過したとき、等があるが、バネ要素の特性とステージ駆動パターンにより適宜設定する。

【0040】図4～6に制御シュミレーションを示す。

【0041】図4は、加速開始から最後まで位置決めステージ制御系を機能させなかった場合における、目標位置からの位置決めステージ位置の誤差(以下、位置決めステージ偏差)である。図4にみられる振動は、バネ要素によるものである。

【0042】図5(a)は、本発明による制御手法を適用した場合の位置決めステージ偏差を表し、時刻110から位置決めステージ制御系を機能させている。図5(b)は、位置決めステージ制御系が指令した位置決め

ステージのリニアモータへの制御指令（次元は力。以下制御入力と呼ぶ）である。

【0043】図6は、図5と比較のために示したものであり、加速開始時から位置決めステージ制御系を機能させたものである。図6（a）は、位置決めステージ偏差は加速中も小さく抑えられているが、図6（b）の制御入力は大きくなっている。図5と図6の場合で、同じリニアモータ（同じ推力定数、同じ抵抗値）を用いるものとし、時刻0から時刻150までのリニアモータで消費される総エネルギーを算出すると、図5の場合は図6の場合と比べ、わずかに3%となり、リニアモータの発熱を非常に小さく抑えることができる。

【0044】加減速ステージのアクチュエータには、加減速ステージと位置決めステージとを加速するだけのエネルギーが必要とされるが、加減速ステージのアクチュエータは位置決めステージから離して設置できるので、仮に加減速ステージのアクチュエータに発熱があったとしても、位置決めステージや位置決めステージに搭載した目的物に与える影響は軽微である。

【0045】本発明の制御系では、加速中の位置決めステージ偏差は大きくなるが、最終的な位置決めが要求されるのは前述したように時刻100以降の等速区間であるので、加減速中の位置決めステージ偏差の大きさは問題ではない。

【0046】このように、本発明のステージ構成および制御系を用いれば、位置決めステージの高速高精度な位置決めを、発熱を極力抑えて実現することができる。

【0047】ところで、図5（b）を見ると、位置決めステージ制御系を機能し始めた瞬間に、インバレス的な大きな制御入力が発生していることが分かる。位置決めステージ制御系には、高精度の位置決めをするために非常に高い帯域の制御系が構成されているため、位置決めステージ偏差が大きな状態で位置決めステージ制御系が機能するとこのようなことが起こる。

【0048】このような瞬間的な大きな値から出すことは、リニアモータを駆動する電気系への大きな負荷であり、好ましくない。

【0049】そこで次に本発明では、図7に示す制御系を採用し、改善を行っている。

【0050】同図において、45は図1の位置決め装置構成における位置決めステージ制御系内に新たに付加された位置決めステージ偏差補正信号発生器である。

【0051】位置決めステージ偏差補正信号発生器は、位置決めステージ制御系が制御を開始してから偏差を解消する過程において、急激な偏差解消を行うのではなく、ある目標値に沿って偏差を解消させるべく偏差信号を補正する信号を発生させるものである。

【0052】図8は、位置決めステージ偏差補正信号発生器から生成された偏差補正信号を示す。

【0053】位置決めステージ制御系では、位置決めス

テージ偏差に偏差補正信号を引いたものを制御系内における偏差として制御を行い、図9に示すような位置決めステージの制御指令が生成される。

【0054】図10に位置決めステージ制御系の制御開始時近傍の位置決めステージ偏差を示す。

【0055】図中において実線イが偏差補正信号を用いた場合で、点線ロが偏差補正信号を用いていない場合（図5と同じ）である。

【0056】図8に用いた偏差補正信号は、位置決めステージ制御系の制御開始時において、補正信号の大きさおよび傾きを一致させるようにしてある。つまり、図10の位置決めステージ制御系の制御開始時刻（図中の記号ハ点）において、偏差補正信号を用いた場合（実線イ）に、偏差信号が滑らかに連続し、偏差補正信号に沿って偏差ゼロへと収束する。そのため、急激な偏差解消を行うことはない。

【0057】偏差補正信号を用いていない場合（点線ロ）は、急激に偏差ゼロへと向かうが、オーバーシュートを起こし、偏差がゼロへと収束する時間は偏差補正信号を用いた場合とあまり変わらなくなる。つまり、偏差補正信号を用いても、ステージ位置決めに要する時間が長くかからないことがわかる。

【0058】偏差補正信号を用いた場合のリニアモータへの入力の総エネルギー量は、偏差補正信号を用いていない場合の約3%と、非常に小さくすることができ、位置決めステージのアクチュエータの発熱を抑えることができる。

【0059】偏差補正信号は、図8では一次遅れ系の特性を用いているが、位置決めステージ制御系の制御開始時間の偏差と傾きが一致している滑らかな曲線であれば、例えば二次関数曲線等の他の曲線でもほぼ同様な効果を得ることができる。

【0060】ここでは、加速終了後における等速時の位置決めについて示したが、本発明は、減速後のステージ停止時にも同様に適用することができる。すなわち、減速が大きくなり加減速ステージからバネ要素を介して伝わる駆動力が大きくなったときに位置決めステージ制御系を切り、減速が小さくなり加減速ステージから伝達される駆動力が小さくなったときに位置決めステージ制御系を機能させれば良い。

【0061】位置決めステージに要求される運動が所定距離を移動するステップ駆動である場合は、このような制御方法を減速時に使用すれば良い。

【0062】ここでは本発明のステージ装置の制御方法を概略的に説明するため、一軸方向についての例を挙げたが、軸数はこれに限定されるものではなく、次述するように、例えば平面内の直交する2軸（X軸、Y軸）に移動可能なXYステージにおいて、XY軸の少なくとも一方の軸に本発明を適用しても良い。

【0063】＜実施形態2＞次に、上述した実施形態の



具体的なステージ構成について説明を行う。

【0064】図11は、本発明の6軸ウエハステージの斜視図である。

【0065】50は、基準面を有する定盤である。54は、基準面上で静圧軸受により支持され、定盤上に設けられたYガイド52により案内され、Y方向に移動可能なYステージである。54Yは、YステージをY方向に駆動するためのYリニアモータであり、Yリニアモータ固定子は定盤と実質上一体的に設けられており、Yリニアモータ可動子はYステージと実質上一体的に設けられている。51は、基準面上で静圧軸受により支持され、Yステージ54に設けられたXガイドにより案内され、Yステージに対してX方向に移動可能なXステージである。51Xは、XステージをYステージに対してX方向に駆動するためのXリニアモータであり、Xリニアモータ固定子はYステージと実質上一体的に設けられており、Xリニアモータ可動子はXステージと実質上一体的に設けられている。

【0066】上記の静圧XYステージのXステージ上に、4軸静圧θZTステージが搭載されている。

【0067】図12は、本実施形態のウエハステージの平面図である。図13は、本実施形態のウエハステージ装置をY方向から見た場合の一部断面図である。また、図14は、本実施形態のウエハステージをX方向から見た場合の一部断面図である。

【0068】1は前述のXYステージである。2は、円筒状の固定部材であり、天板51aと一体的に設けられている。3は固定部材2の支持面である外周面と対向する円筒状の面を有する案内部材であり、4は案内部材3の上端に一体的に結合され、真空吸着力等によってウエハ等基板を吸着するウエハチャック（不図示）を備えた保持盤である。

【0069】5は、保持盤4と天板51aとをZ方向に接近・離間させる3個のZリニアモータである。6は、保持盤4を天板51aに対してXY平面にて並進もしくは回転させる方向に力を発生させるためのリニアモータである。

【0070】7は、固定部材2の外周面に保持された環状の多孔質絞り型の静圧軸受である多孔質パッドである。固定部材2の外周面と案内部材3の案内面である内周面とは、多孔質パッド7から噴出される加圧流体の静圧によって、互いに非接触に支持されている。つまり、保持盤4は、静圧軸受7により、XYステージ1の移動方向であるXY方向に関して、天板51aから非接触で支持されている。また、保持盤4は、固定部材2と案内部材3の円筒状の案内面により、固定部材2と案内部材3の中心軸Z軸に沿って往復移動自在であるとともに、Z軸の回りに回転自在である。そして、多孔質パッド7の軸受間隙の許す範囲内において、Z軸に対して傾斜自在である。Z軸に対する傾斜各の許容値は、多孔質パッ

ド7pの軸方向寸法を小さくすることで大きくすることができる。さらに、案内部材3、保持盤4および保持盤4に吸着されたウエハの重量をZ方向に支持する力は、固定部材2に設けられた段差2aと案内部材に設けられた段差3aによって形成される付勢手段である予圧室8の加圧流体の圧力によって得られる。

【0071】図13に示すように、固定部材2は、多孔質パッド7pおよび予圧室8にそれぞれ加圧流体を供給する内部流路7aおよび8aを有し、また、案内部材3と固定部材2の段差の下端にはラビリンスシール8bが形成されている。なお、多孔質パッド7pと案内部材3との間隙は7μm程度であり、ラビリンスシール8bの間隙は約15μmである。

【0072】Zリニアモータ5a～5cは、案内部材の外側に周方向に等間隔で配設されている。各Zリニアモータ5a～5cの可動子5mは、内面に永久磁石を有する筒状の枠体であり、該枠体は、案内部材3の外周面に固着されている。また、各Zリニアモータ5a～5cの固定子5sは、天板51aと一体である支持体1zに固着されたコイルであり、図示しない配線によって所定の駆動制御系に接続されている。該駆動制御系から供給される電流量に応じて、可動子5mがZ方向へ駆動される。各Zリニアモータ5a～5cに供給される電流量が同じであれば、保持盤4の平面度を維持しつつZ方向に移動することができ、各Zリニアモータ5a～5cに供給される電流量を個別に変化させることによって保持盤4の平面度すなわち傾斜角度を変化させることができる。

【0073】天板51aには、各Zリニアモータ5a～5cに隣接する非接触型の変位センサ9a～9cが配設されている。各変位センサ9a～9cは、保持盤4の下面に対向する検出端を有し、保持盤4のZ方向の位置変化を検出している。変位センサ9a～9cの出力を前述の駆動制御系にフィードバックすることにより、保持盤4の傾斜角度の位置決めを行うことができる。つまり、保持盤4は、天板51aに対してZ・Tiltステージになっている。

【0074】図12に示すように、保持盤4を天板51aに対してX方向に力を発生させるためのリニアモータであるXリニアモータ6xは、保持盤中央ほぼ真下の位置に配設されている。加えて、保持盤4を天板51aに対してY方向もしくはZ軸に回転させる方向に力を発生させるためのリニアモータである2つのYリニアモータ6y1、6y2は、保持盤の左右にそれぞれ配設されている。また、Xリニアモータの可動子6xmおよびYリニアモータの可動子6ymは、内面に永久磁石を有する筒状の枠体であり、該枠体は案内部材3の外周面に固着されている。Xリニアモータ6の固定子6xsおよびYリニアモータの固定子6ysは、天板51aと一体である支持体1x、1yに固着されたコイルであり、図示し

ない配線によって前述の実施形態の位置決めステージ制御系に接続されている。該位置決めステージ制御系から供給される電流量に応じて各可動子6xm、6ymを駆動し、保持盤4への駆動力が、天板51aに対してXY方向に働くようにする。具体的には、xリニアモータ6xに電流が供給されれば、保持盤のX方向に並進力が作用する。また、yリニアモータに電流が同符合に供給されれば、保持盤のY方向に並進力が作用し、異符号に供給されれば保持盤をZ軸回りに回転させるモーメント力が作用する。xリニアモータとyリニアモータの制御方法は、後述する。

【0075】また、保持盤4のXY方向の位置を正確に計測するために、レーザ干渉計を用いており、X方向の変動を計測するためのX計測ミラー10x、Y方向の変動およびZ軸回りの回転方向の変動を計測するためのY計測ミラーは、それぞれ保持盤4に固定されている。干渉計の出力を前述の駆動制御系にフィードバックすることにより、保持盤4のXY方向の位置決めを自動的に行うことができる。

【0076】保持盤4がXY方向にステップ移動するとき、レーザ干渉計で保持盤4のXY方向の位置を計測しながら、まずXYステージ1がXY方向に移動する。XYステージにより天板がXY方向に移動すると、天板に設けられたラジアル静圧軸受7の空気膜を介して保持盤4に力が伝達され、保持盤4は所定の位置に移動することになる。

【0077】本実施形態のラジアル静圧軸受の軸受間隙は、保持盤を天板に対してXY方向に移動可能なように広めに設計されている。そのため、xyリニアモータを天板に対する保持盤の移動用アクチュエータとして用い

れば、xyリニアモータにより保持盤の微動調整を行うことができる。

【0078】本実施形態の位置決め装置のXY方向駆動時の動作について、図15に示すモデル図を用いて詳細に説明を行う。

【0079】同図における各構成要素は、図11～図14中の構成要素の番号と対応している。上述の説明では、xyリニアモータ6の固定子は、天板51aと一体に設けられた支持体に固着されていたが、本図においては説明の都合のため、固定子は天板51aと一体に設けられた固定部材2に設けられている。また、xyリニアモータ6の配置が図12と異なっているが、これも説明の都合のためであり、xyリニアモータ6の「保持盤4を天板51aに対してXY平面にて並進もしくは回転させる方向に力を発生させる」という作用を変えるものではない。さらに、ラジアル静圧軸受7について、空気膜を模したバネで四方から固定部材2と案内部材3を連結しているが、これは軸受により形成される空気バネを表わしており、実際は非接触であり、四方に限られずラジアル方向全体に空気バネが存在している。以上の構成か

ら分かるように、本実施形態の位置決め装置は、リニアモータ6と空気軸受とが並列に配置された構成になっているといえる。

【0080】同図において、XYステージ（不図示）により固定部材2がXY方向に移動すると、ラジアル軸受7により形成された空気バネを介して案内部材3に力が伝達され、保持盤（不図示）は所定の位置に移動することになる。

【0081】前述の実施形態によるステージ制御方法を本実施形態に適用した場合の説明を以下に行う。

【0082】まず加減速ステージに相当する固定部材2の加速をXYステージにより行う。これに伴って空気バネが縮み（つまり、空気軸受の間隙が狭くなり）、空気軸受の剛性が高くなり、空気バネを介して固定部材2からの力が案内部材3に伝達される。つまり保持盤がXYステージから空気軸受を介して力が伝達され、保持盤が加速される。XYステージからの力の伝達が大きいつき（加速が大きいつき）は、保持盤とXYステージとの間で移動方向に力を発生させるxyリニアモータは制御を行わない。

【0083】次に、加速がほぼ終了してXYステージから伝達される力の伝達小さくなったときに、xyリニアモータの制御系である位置決めステージ制御系が制御を開始し、保持盤の等速運動のための最終的な位置決めを行う。保持盤を定速走行させるために位置決めステージ制御系がxyリニアモータを制御して位置決めを行うときに、保持盤がラジアル軸受の空気膜によるバネ剛性の影響をほとんど受けずXYステージからの外乱を受けないようにするため、ラジアル軸受7の軸受間隙は広めに設計されている。

【0084】ここでは加速終了後における等速時の位置決めについて示したが、本実施形態のステージ装置の位置決め制御を減速後のステージの停止時にも同様に適用することができる。すなわち、減速が大きくなり、XYステージからラジアル軸受を介して伝わる駆動力が大きくなったときに位置決めステージ制御系を切り、減速が小さくなったときに位置決めステージ制御系を機能させれば良い。保持盤に要求される運動が、所定の距離を移動するステップ駆動である場合は、本実施形態の制御方法を減速後に使用すれば良い。

【0085】また本実施形態による位置決めステージ制御系の制御開始時において、前述の実施形態で用いた位置決めステージ偏差補正信号発生器により偏差補正信号を利用するようにしても良い。この場合も、偏差補正信号は位置決めステージ制御系の制御開始時において、補正信号の大きさおよび傾きを一致させるようにしてあり、偏差信号が滑らかに連続するようになっている。

【0086】本実施形態は、Zリニアモータ5a～5cおよびxyリニアモータが、それぞれ個別に天板51a上に支持されており、また、保持盤4と天板51aが非

接触であるため、保持盤4の移動中に大きな振動が発生するおそれがない。また、予圧室8によって保持盤4や保持されたウエハの重量の大部分を支持しているため、Zリニアモータ5a~5cの負荷は小さくてすむ。なお、保持盤4の平面をXY平面に対して傾斜させた場合、すなわち、保持盤4をZ軸に対して傾斜させた場合は、これに伴って多孔質パッド7pの軸受間隔の寸法と、ラビリンスシール8aの間隔寸法と、各Zリニアモータ5a~5cおよびxyリニアモータ6の永久磁石とコイルの間隔寸法とが変化するが、露光装置の焦点合わせや最終的な位置決めを行う位置決め装置においては、このような変化は微小であるため、多孔質パッド7pと案内部材3が接触したり、ラビリンスシールの性能が著しく低下したり、あるいはリニアモータの駆動量が著しく制限されるおそれはない。なぜなら、リニアモータの最小間隔は1~2mm程度であり、例えば図16に示すように、多孔質パッド7pの軸受面の直径d、Z方向の寸法w、軸受間隔の両端の寸法h1、h2としたとき、 $d=200\text{mm}$ 、 $w=20\text{mm}$ 、保持盤44傾斜角度の微調節量 $\alpha$ が $3 \times 10^{-4} \text{rad}$ であれば、軸受間隔の寸法の変動量 $(h1-h2)/2$ は約 $3\mu\text{m}$ となるが、多孔質パッド7pの間隔寸法は $7\mu\text{m}$ 、ラビリンスシールの間隔寸法は $15\mu\text{m}$ に設定されているためである。

【0087】本実施形態では、保持盤（メインステージ）のXY方向（移動方向）への移動が、天板（サブステージ）のXYステージ（移動機構）によるXY方向への移動に際し、まずXYステージによる加減速移動により保持盤を加減速移動させ、保持盤の加減速終了後、xyリニアモータ（非接触アクチュエータ）による駆動を開始して保持盤の位置決めを行っている。これにより、大きな発熱が発生されることなく、保持盤のXY方向への位置決めの高速度および高精度化が可能となる。

【0088】本実施形態では、天板をXY方向に駆動する移動機構としてリニアモータを利用したXYステージを用いたが、これに限るものではなく、移動機構は天板をXY方向に所定の精度で駆動できるものであれば良く、例えばボールネジやシリンダ等で駆動するXYステージでも良い。

【0089】また、本実施形態では、天板から保持盤をXY方向に支持するための静圧軸受として円筒形状のラジアル静圧軸受を用いたが、これに限るものではなく、X方向およびY方向に対して別々に静圧軸受を設けて支持しても良い。さらに、本発明で用いられる軸受は、静圧軸受に限られるものではなく、非接触な軸受ならば良く、例えば、磁石等の反発力を利用した非接触軸受でも良い。そして、天板による保持盤の支持は、保持盤が天板に対して、Z方向、Z軸回りの回転方向およびチルト方向（Z軸に対する傾斜方向）に移動自在となっていることが望ましい。

【0090】また、本実施形態では、天板と保持盤との

間で、XY方向に関して、軸受による支持力とxyリニアモータの駆動力とが並列に作用するように構成されている。ここで「並列」とは、単に軸受とxyリニアモータとを並べて配置することを意味するだけでなく、実施形態で示した通り、軸受とxyリニアモータのそれぞれが、天板と保持盤との間で力を伝達できるように構成されていることを意味する。

【0091】本実施形態では、保持盤に対するZ方向の支持力をラビリンスシールを有する予圧室によって発生させていたが、これに限るものではなく、例えばゴム等により予圧室を密閉させてZ方向の支持力を発生させても良い。また、保持盤に対するZ方向の支持力は、エアの力によるものに限られず、例えば磁石の反発力等を用いても良い。

【0092】また、本実施形態では、保持盤の傾斜角度の位置変化を、天板に配設された変位センサにより検出していたが、これに限るものではなく、位置決め装置の外部の基準部材から干渉系等により保持盤のZ方向に関する位置情報を計測しても良い。

【0093】＜実施形態3＞次に前述した実施形態の位置決め装置をウエハステージとして搭載した走査型露光装置の実施形態を、図17を用いて説明する。

【0094】鏡筒定盤96は床または基盤91からダンパ98を介して支持されている。また鏡筒定盤96は、レチクル定盤94を支持すると共に、レチクルステージ95とウエハステージ93の間に位置する投影光学系97を支持している。

【0095】ウエハステージは、床または基盤から支持されたステージ定盤上に支持され、ウエハを載置して位置決めを行う。また、レチクルステージは、鏡筒定盤に支持されたレチクルステージ定盤上に支持され、回路パターンが形成されたレチクルを搭載して移動可能である。レチクルステージ95上に搭載されたレチクルをウエハステージ93上のウエハに露光する露光光は、照明光学系99から発生される。

【0096】なお、ウエハステージ93は、レチクルステージ95と同期して走査される。レチクルステージ95とウエハステージ93の走査中、両者の位置はそれぞれ干渉計によって継続的に検出され、レチクルステージ95とウエハステージ93の駆動部にそれぞれフィードバックされる。これによって、両者の走査開始位置を正確に同期させるとともに、定速走査領域の走査速度を高精度で制御することができる。投影光学系に対して両者が走査している間に、ウエハ上にはレチクルパターンが露光され、回路パターンが転写される。

【0097】本実施形態では、前述の実施形態の位置決め装置をウエハステージとして用いているため、ステージが加減速移動するステップ移動時には前述のXYステージの加速により保持盤を加速し、ステージが定速移動するスキャン露光時には前述のxyリニアモータによる

保持盤の位置決めを行い、高速・高精度な露光が可能となる。

【0098】また、前述の実施形態のような静圧軸受とリニアモータを並列に設けた位置決め装置をレチクルステージに用いて良い。

【0099】＜実施形態4＞次に上記説明した露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。図18は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、あるいは液晶パネルやCCD等）の製造フローを示す。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ14によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップS7）される。

【0100】図19は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では上記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを製造することができる。

【0101】

【発明の効果】本発明の請求項1記載の位置決め装置によれば、アクチュエータの発熱を抑えてメインステージの位置決めを行うことができる。

【0102】また、請求項8記載の位置決め装置によれば、アクチュエータの制御を開始したときに急激な偏差補正制御を抑えることができる。

【0103】また、請求項9記載の位置決め装置によれば、位置偏差信号を滑らかに連続させて収束させること

ができる。

【0104】また、請求項22記載の位置決め装置によれば、メインステージを二次元方向に高速高精度に位置決めすることができる。

【0105】また、請求項24記載の位置決め装置によれば、メインステージを6軸方向に高速高精度に位置決めすることができる。

【0106】また、本発明の請求項32記載の位置決め方法によれば、メインステージの位置偏差を滑らかに連続させながら目標位置に収束させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態の位置決め装置のモデル図

【図2】バネ要素の剛性を示す図

【図3】第1実施形態の位置決め装置のステージ駆動プロファイルを示す図

【図4】目標位置からの位置決めステージの誤差を示す図

【図5】第1実施形態による制御手法を適用した場合の偏差と制御指令を示す図

【図6】図5と比較するための参考図

【図7】位置決めステージ偏差補正信号発生器を用いた制御系を示す図

【図8】位置補正信号を示す図

【図9】図7における制御系を用いた場合の位置決めステージの偏差と制御指令を示す図

【図10】位置決めステージ制御系の制御開始時近傍の位置決めステージ偏差を示す図

【図11】第2実施形態の6軸ウエハステージの斜視図

【図12】第2実施形態の位置決め装置の平面図

【図13】第2実施形態の位置決め装置をY方向から見た場合の一部断面図

【図14】第2実施形態の位置決め装置をX方向から見た場合の一部断面図

【図15】第2実施形態の位置決め装置のモデル図

【図16】第2実施形態のラジアル静圧軸受の軸受間隙の説明図

【図17】第3実施形態のスキャン露光装置の概略図

【図18】半導体デバイス製造フロー図

【図19】ウエハプロセスフロー図

【図20】従来の位置決め装置のモデル図

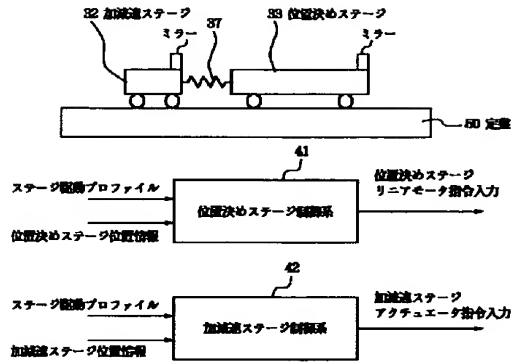
【符号の説明】

- 1 XYステージ
- 2 固定部材
- 3 案内部材
- 4 保持盤
- 5 Zリニアモータ
- 6 リニアモータ
- 7 静圧軸受
- 8 与圧室
- 9 変位センサ

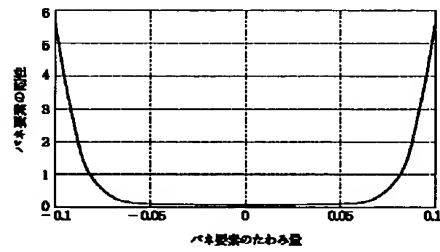
10 計測ミラー  
50 定盤  
51 Xステージ  
51a 天板  
52 Yガイド  
53 静圧軸受  
54 Yステージ  
91 床・基盤

92 ステージ定盤  
93 ウエハステージ  
94 レチクル定盤  
95 レチクルステージ  
96 鏡筒定盤  
97 投影光学系  
98 ダンパ  
99 照明光学系

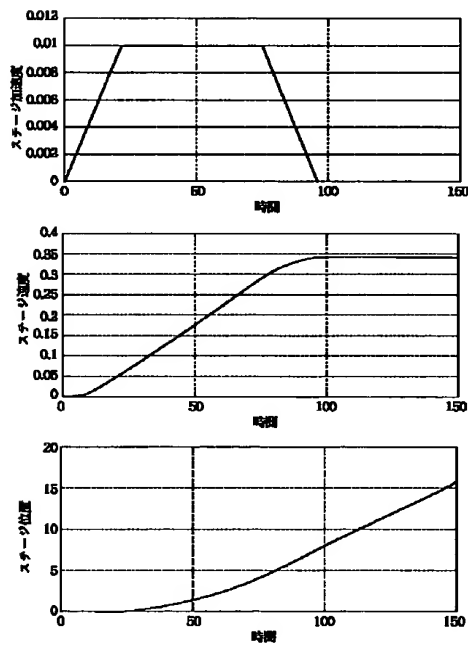
【図1】



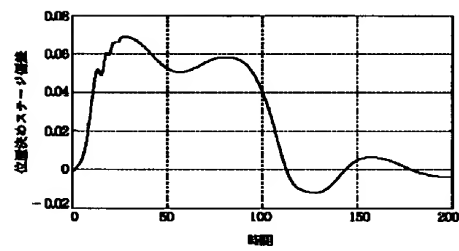
【図2】



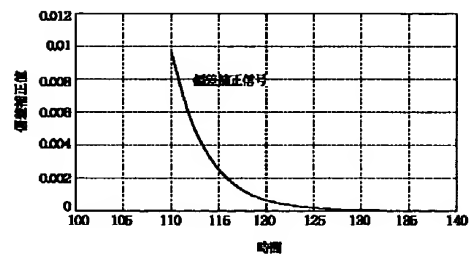
【図3】



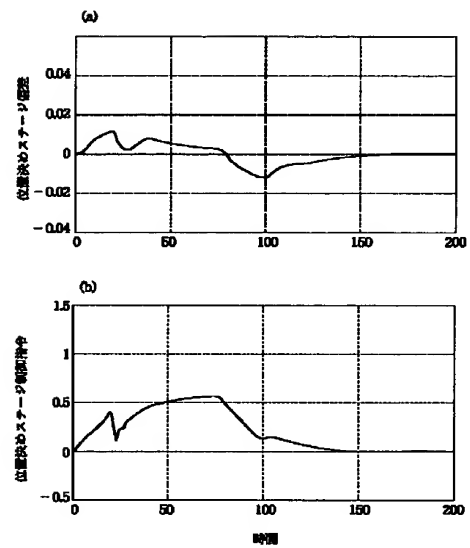
【図4】



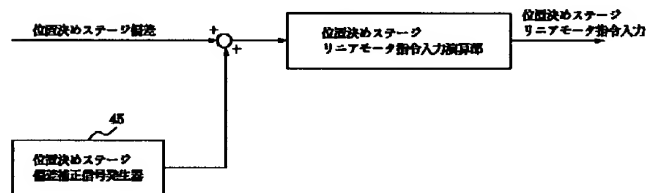
【図8】



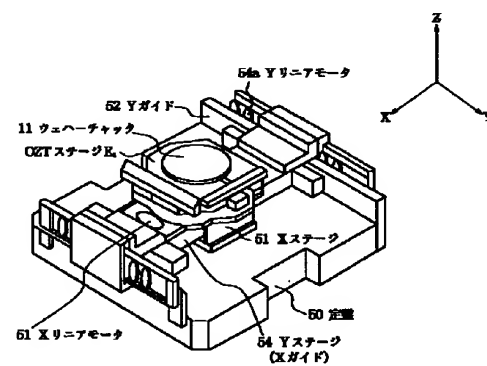
【图6】



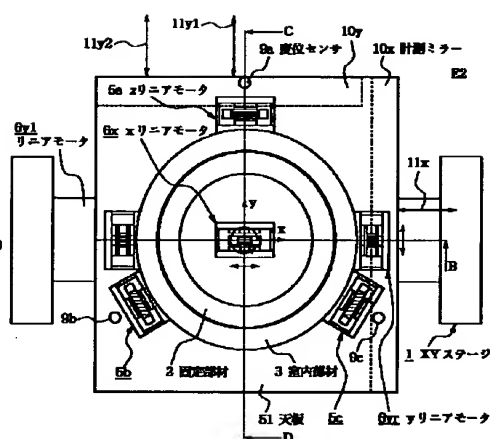
【図7】



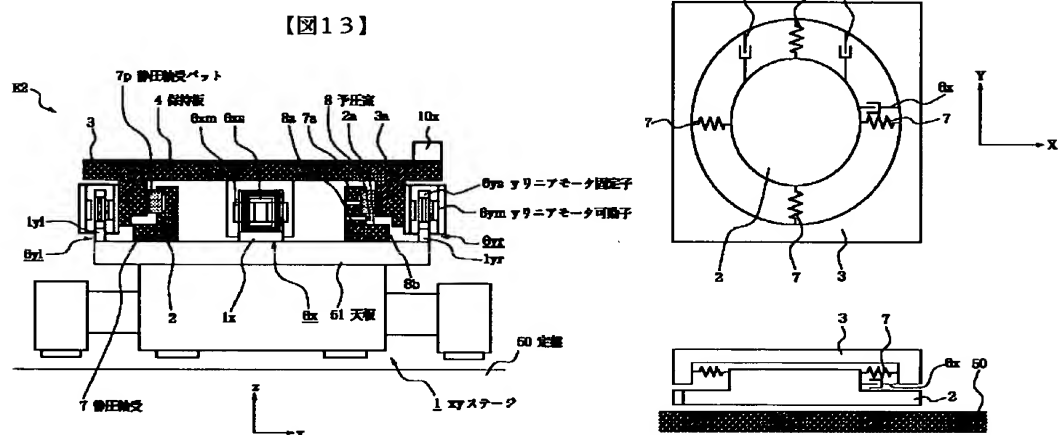
【图 11】



【图12】



【例 15】



【图 16】

【図20】

